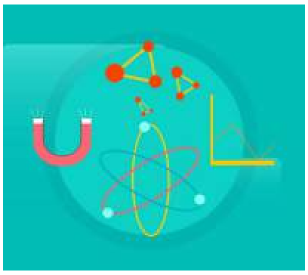
УДК 373.5.016:53

Григорій КОБЕЛЬ,
кандидат педагогічних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій ВНУ імені Лесі Українки;
Валентин САВОШ,
доктор педагогічних наук, доцент кафедри теорії та методики викладання шкільних предметів ВІППО

Третій етап LX Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики



Наведено умови задач та їх авторські розв'язання для 7–11 класів теоретичного туру третього етапу LX Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики.

Ключові слова: *швидкість, температура, маса, потужність, густина, питома теплоємність, лінза, вольтметр.*

Hryhorii Kobel, Valentyn Savosh. The Third Stage of the LXth All-Ukrainian Student Olympiad in Physics.

Terms of tasks and their authorial decisions for 7–11 classes of theoretical turn of the third stage of the LXth All-Ukrainian Student Olympiad in physics are given.

Keywords: *velosity, temperature, mass, power, density, specific heat capacity, lens, voltmeter.*

15 січня 2024 року в м. Луцьку проводився теоретичний тур третього етапу LX Всеукраїнської учнівської олімпіади з фізики. У ньому взяли участь 100 учнів – переможці міських та районних олімпіад Волинської області. З них 22 учні 7 класу, 20 – 8-го, 18 – 9-го, 17 – 10-го і 23 учні 11 класу. 20 січня проводився експериментальний тур, на нього запросили: 12 учнів 8 класу, 9 – 9-го, 9 – 10-го і 11 учнів 11 класу.

Наводимо умови та авторські розв'язання задач теоретичного туру.

7 клас

Задача 1. Для перевезення зерна по залізничних шляхах Володимир – Гданськ використовують хопери (вагони для перевезення сипких речовин). Довжину і висоту вагона вказано на рис. 1, а ширина всюди однакова – 3 м. В такий вагон засипали 28 тонн зерна. Знайти висоту рівня зерна у вагоні. Скільки ще тонн зерна поміститься у вагон, якщо під час руху він повинен бути закритий зверху? Один кубічний метр зерна, засипаного у вагон, має масу 800 кг.

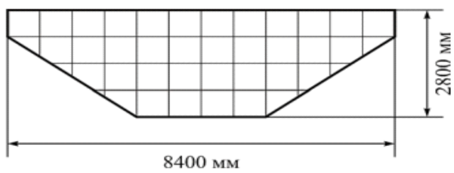


Рисунок 1

Задача 2. Два автомобілі одночасно виїхали назустріч один одному із пунктів *A* і *B*. Автомобілі зустрілися о 12 годині та продовжили свій рух. Перший автомобіль прибув до пункту *B* о 13 годині, другий – до пункту *A* о 16-й. Визначте, о котрій годині виїхали автомобілі. Рух автомобілів вважайте прямолінійним рівномірним.

Задача 3. Шматок пористої речовини розміром 10×10×10 см має масу $M = 650$ г. Якщо відрізати зверху маленький шматочок, його густина буде $\rho_1 = 1100$ кг/м^3. Це пов'язано з тим, що всередині шматка пористої речовини є невидимі ззовні великі отвори, наповнені повітрям. Яка маса повітря у великому шматку, якщо густина повітря становить $\rho_п = 1{,}29$ кг/м^3?

Задача 4. Учень Микола тренується з м'ячем біля стіни. З відстані L від стіни він починає бігти зі швидкістю υ до м'яча, що перебуває на відстані s від стіни. Після удару Миколи м'яч котиться зі швидкістю u_1 до стіни і, відбившись від неї, повертається зі швидкістю u_2 до Миколи, який біжить. При зустрічі з м'ячем Микола знову надає йому швидкість u_1 у напрямку стіни і біжить далі до наступної зустрічі з м'ячем, що котиться від стіни зі швидкістю u_2. Всі рухи відбуваються вздовж прямої. В кінці вправи Микола притискає м'яча до стіни.

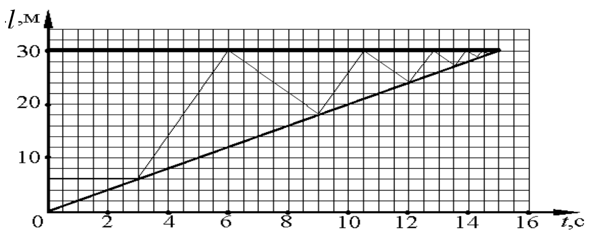


Рисунок 2

Використовуючи графіки залежності шляху Миколи, м’яча та стіни від часу (рис. 2), визначте відстані L та s, швидкості υ, u_1 та u_2, сумарний час руху м’яча до стіни t_1 та сумарний час руху м’яча від стіни t_2. Учня і м’яч вважати матеріальними точками.

8 клас

Задача 1. Порожній медичний шприц масою M = 10 г складається із циліндра і поршня, довжини яких однакові. Шприц наповнили однорідною рідиною на 2/3 об’єму. Потім за допомогою ниток шприц підвісили до двох вертикальних динамометрів так, щоб він перебував у горизонтальному положенні (рис. 3). Покази динамометрів при цьому становлять F_1 = 60 мН і F_2 = 90 мН.

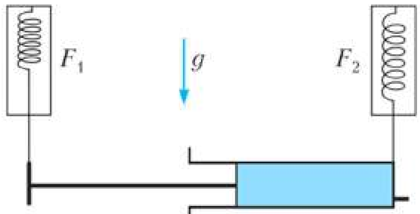


Рисунок 3

Визначте масу поршня і масу циліндра. Вважайте, що центр мас циліндра перебуває посередині циліндра, центр мас поршня – посередині поршня. Коефіцієнт g вважати 10 Н/кг.

Задача 2. Шматок льоду, всередині якого перебуває залізний кубик, помістили у воду, температура якої 0 °С. Воду налито у калориметр. У початковому стані лід плаває в калориметрі. Маса льоду 150 г, кубика 3 г.

Визначте кількість теплоти, яку необхідно затратити, щоб лід почав тонути. Густина води ρ_0 = 1000 кг/м^3, густина льоду ρ_1 = 900 кг/м^3, густина заліза ρ_2 = 7800 кг/м^3. Питома теплота плавлення льоду λ = 336 кДж/кг.

Задача 3. Експериментатор узяв циліндричну посудину заввишки H = 57 см і налив у неї дві рідини, що не змішуються, з густинами ρ_1 і ρ_2 і висотами h_1 та h_2 відповідно. Після цього він узяв динамометр, підвісив до нього металеве тіло кубічної форми і почав повільно опускати його в посудину з рідинами (рис. 4). У таблиці наведено покази динамометра F залежно від відстані h від краю посудини до нижньої грані кубика. Коефіцієнт g вважати 10 Н/кг.

Визначте:

а) висоти рідин h_1 та h_2;

б) об’єм металевого тіла;

в) густини рідин ρ_1 та ρ_2.

Об’єм кубика вважати малим порівняно з об’ємом посудини, тому при його зануренні в рідини висоти їх рівнів не змінюються.

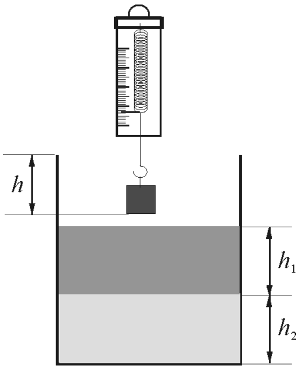


Рисунок 4

h, см	5	6	7	8	9	10	11	12	22	23	24	25	26	27	30
F, Н	6,4	6,4	6,4	6,24	6,08	5,92	5,76	5,76	5,76	5,68	5,6	5,52	5,44	5,44	5,44

Задача 4. ***(Див. задачу 4, 7 клас).***

Задача 5. В одній посудині перебуває 5 кг води при температурі t_1 = 60 °С, в іншій – 1 кг води при температурі t_2 = 20 °С. Посудини теплоізольовані. Спочатку з першої посудини в другу перелили частину води масою m. Потім, коли в другій посудині настала теплова рівновага, з неї в першу посудину перелили таку ж саму кількість води. Після настання теплової рівноваги в першій посудині стала температура t = 59 °С.

Яку масу води m переливали з першої посудини в другу і назад?

Задача 6. Експериментатор проводив дослід з підняття тіла кубічної форми, виготовленого з невідомого матеріалу, із рідини, густина якої теж невідома (рис. 5). На графіку (рис. 6) показано залежність показів динамометра F від відстані h від дна посудини до нижньої грані кубика.

На жаль, не всі дані на графіку збереглися. За наявними результатами вимірювань визначте густину кубика та густину рідини.

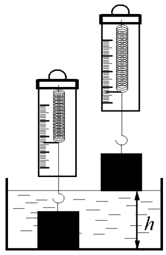


Рисунок 5

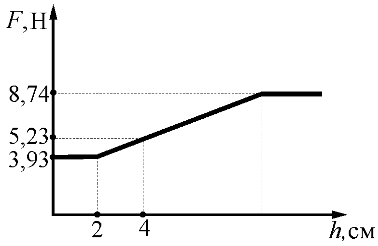


Рисунок 6

9 клас

Задача 1. ***(Див. задачу 1, 8 клас).***

Задача 2. ***(Див. задачу 2, 8 клас).***

Задача 3. Під час тривалого протікання струму силою $I_1 = 1{,}4$ А дротиною вона нагрілася до температури $t_1 = 55\,^\circ\mathrm{C}$, а при силі струму $I_2 = 2{,}8$ А – до $t_2 = 160\,^\circ\mathrm{C}$. Температура навколишнього середовища залишається сталою.

До якої температури нагріється дротина, якщо сила струму буде $I_3 = 5{,}6$ А? Зміною опору дротини при нагріванні знехтувати. Тепловіддача в зовнішнє середовище пропорційна різниці температур дротини та зовнішнього повітря.

Задача 4. Дві невеликі світлодіодні лампочки перебувають на відстані $l = 2$ м. Де потрібно розмістити між ними лінзу, щоб зображення обох ламп розмістилося в одній точці? Фокусна відстань лінзи $F = 64$ см.

Задача 5. ***(Див. задачу 5, 8 клас).***

Задача 6. ***(Див. задачу 6, 8 клас).***

10 клас

Задача 1. Сонячного зимового дня з кінця бурульки через рівні проміжки часу відриваються краплини води. До моменту часу, коли перша краплина досягла поверхні землі, наступна пролетіла рівно половину шляху.

Яку частину шляху пролетіла до цього моменту третя краплина? Скільки краплин було в польоті перед самим ударом першої об землю? Вважати, що краплини вільно падають без початкової швидкості.

Задача 2. Легка спиця може обертатися навколо одного свого кінця – точки O. На другому кінці та посередині спиці закріплено однакові кульки масою m кожна. Спицю розмістили горизонтально і відпустили.

Яка максимальна швидкість середньої кульки? Чому дорівнює максимальна вага кульок?

Задача 3. ***(Див. задачу 3, 9 клас).***

Задача 4. ***(Див. задачу 4, 9 клас).***

Задача 5. Хлопчик витягає санки масою $m = 5$ кг на гірку, прикладаючи силу вздовж поверхні гірки. Він при цьому виконує роботу $A = 480$ Дж. Кут нахилу гірки такий, що $\mathrm{tg}\alpha = 0{,}2.$ Коефіцієнт тертя ковзання між санками і гіркою $\mu = 0{,}1$. Хлопчик з'їжджає з гірки без початкової швидкості.

Яку швидкість він матиме біля підніжжя гірки?

Задача 6. Пружинний маятник здійснює гармонічні коливання, розпочинаючи рух із положення рівноваги. Запишіть рівняння залежності потенціальної та кінетичної енергії від часу. Побудуйте графіки цих залежностей. Коливання вважайте незатухаючими.

У які моменти часу протягом періоду потенціальна енергія дорівнює кінетичній? Визначити відношення потенціальної енергії до кінетичної енергії маятника через 1/6 періоду після початку руху.

11 клас

Задача 1. ***(Див. задачу 1, 10 клас).***

Задача 2. Ідеальний газ має температуру $t_1 = 113\ ^\circ\mathrm{C}$. Знайдіть температуру t_2 цього газу після розширення, що відбулося за законом $pV^{\frac{3}{2}} = const,$ якщо об'єм газу збільшився в 2 рази.

Задача 3. ***(Див. задачу 3, 9 клас).***

Задача 4. ***(Див. задачу 4, 9 клас).***

Задача 5. Конденсатор ємності C та котушка індуктивності L утворюють коливальний контур. Запишіть рівняння залежності енергії електричного та магнітного полів від часу. Побудуйте графіки цих залежностей. У початковий момент часу заряд конденсатора дорівнює нулю і починає зростати. Коливання вважайте незатухаючими. Максимальна напруга на пластинах конденсатора дорівнює $U_{\max}$.

У які моменти часу протягом періоду енергії електричного та магнітного полів дорівнюють між собою? Визначити відношення енергії електричного поля до енергії магнітного поля через 1/6 періоду після початку коливань.

Задача 6. Дві провідні рейки розміщено під кутом $\alpha = 45^\circ$ до горизонту в однорідному магнітному полі, вектор індукції якого напрямлений вертикально (див. рис. 7). Відстань між рейками дорівнює 20 см. Індукція магнітного поля становить 500 мТл. На рейки кладуть металеву перетинку, маса якої становить 50 г, коефіцієнт тертя між перетинкою та рейками – 0,2. До рейок приєднують джерело постійного струму.

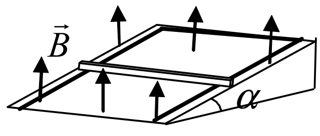


Рисунок 7

При якій силі струму в колі перетинка буде ковзати по рейках рівномірно вгору? Вказати напрямок струму.

Розв'язування задач

7 клас

Задача 1. Очевидно, що густина зерна становить $800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Знайдемо загальний об'єм зерна у вагоні. $V = \frac{m}{\rho}$; $V = \frac{28 \cdot 10^3\ \text{кг}}{800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 35\,\text{м}^3$. З рис. 1 видно, що довжина однієї сторони клітинки становить 0,7 м. Оскільки ширина вагона 3 м, то можна знайти одиничний об'єм: $V_0 = 0{,}7\,\text{м} \cdot 0{,}7\,\text{м} \cdot 3\,\text{м} = 1{,}47\ \text{м}^3$. Знайдемо кількість клітинок, яку займає засипане у вагон зерно: $n=\frac{V}{V_0}$; $n=\frac{35\,\text{м}^3}{1{,}47\,\text{м}^3}=24$. З рис. 1 визначимо, що висота засипаного у вагон зерна становить 2,1 м. Оскільки кількість незаповнених клітинок у вагоні становить 12, то об'єм зерна, яким можна наповнити вагон повністю, становить: $V_2=12\cdot 1{,}47\,\text{м}^3=17{,}64\,\text{м}^3$. Маса цього зерна становитиме: $m_2=800\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\cdot 17{,}64\,\text{м}^3\approx 14\,\text{т}$.

Задача 2. Нехай l – відстань між пунктами A та B, l_A та l_B – відстань, яку проїде перший та другий автомобілі до зустрічі, υ_1 та υ_2 – швидкості руху першого та другого автомобілів. Очевидно, що $l=l_A+l_B$. Оскільки автомобілі рухаються рівномірно, то рівняння їх руху до та після зустрічі можна записати у вигляді: $l_A=\upsilon_1\cdot t$ (1); $l_B=\upsilon_2\cdot t$ (2); $l_A=\upsilon_2\cdot t_2$ (3); $l_B=\upsilon_1\cdot t_1$ (4), де t – час руху автомобілів до зустрічі, t_1 та t_2 – після зустрічі.

З умови визначаємо, що: $t_1=1$ год, $t_2=4$ год. Прирівняємо (1) і (3) та (2) і (4): $\upsilon_1\cdot t=\upsilon_2\cdot t_2$ (5); $\upsilon_2\cdot t=\upsilon_1\cdot t_1$ (6). Поділимо (5) на (6): $\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2}=\frac{\upsilon_2 t_2}{\upsilon_1 t_1}$; $\upsilon_1^2=\upsilon_2^2\frac{t_2}{t_1}$; $\upsilon_1=\upsilon_2\sqrt{\frac{t_2}{t_1}}$; $\upsilon_1=\upsilon_2\sqrt{\frac{4\ \text{год}}{1\ \text{год}}}$; $\upsilon_1=2\cdot\upsilon_2$ (7).

Підставимо (7) у (6): $\upsilon_2\cdot t=2\cdot\upsilon_2\cdot t_1$; $t=2\cdot 1\ \text{год}=2\ \text{год}$.

Отже, автомобілі виїхали о 10:00.

Задача 3. З умови задачі випливає, що шматочок пористої речовини маленький, тоді можна вважати, що його густина становить $\rho_1=1{,}1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Загальний об'єм шматка: $V=V_1+V_\text{п}$ (1). З умови задачі легко знайти об'єм шматка речовини: $V=10\,\text{см}\cdot 10\,\text{см}\cdot 10\,\text{см}=1000\ \text{см}^3$. Рівняння для визначення маси шматка речовини має вигляд: $M=V_1\cdot\rho_1+V_\text{п}\cdot\rho_\text{п}$ (2). Оскільки ρ_1 набагато більше за $\rho_\text{п}$, то рівняння (2) набуде вигляду: $M\approx V_1\cdot\rho_1$ (3). Звідси $V_1\approx\frac{M}{\rho_1}$ (4). Підставивши (4) в (1), знайдемо об'єм газу: $V_\text{п}\approx V-\frac{M}{\rho_1}$ (5). Знаючи об'єм та густину повітря, знайдемо його масу: $m\approx(V-\frac{M}{\rho_1})\rho_\text{п}$; $m\approx(1000\ \text{см}^3-\frac{650\,\text{г}}{1{,}1\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}})\cdot 1{,}29\cdot 10^{-3}\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}=527{,}7$ мг.

Задача 4. Стіна не рухається, отже її графік – горизонтальна лінія. Графік руху Миколи – пряма з початку координат до стіни. Графік руху м'яча – ламана.

З графіка (рис. 3) бачимо, що стіна знаходиться на відстані L = 30 м від Миколи. Микола добігає до неї за час t = 15 с, отже швидкість Миколи $\upsilon=\frac{L}{t}=2$ м/с.

М'яч знаходиться на відстані s = 24 м від стіни.

Після удару він рухався 3 с до стіни, отже його швидкість $u_1=\frac{24\ \text{м}}{3\ \text{с}}=8$ м/с.

Від стіни до зустрічі з Миколою м'яч рухався 3 с і пройшов відстань 12 м, отже його швидкість $u_2=\frac{12\ \text{м}}{3\ \text{с}}=4$ м/с.

Загальний час руху м'яча 12 с. Отже, $t_1+t_2=12$ (1).

З графіка можна помітити, що відстань, яку проходить м'яч після першого відбиття, дорівнює відстані, яку проходить м'яч до другого зіткнення зі стінкою; аналогічно, відстань, яку проходить м'яч після другого відбиття дорівнює відстані, яку проходить м'яч до третього зіткнення зі стінкою, і так далі. Тобто шляхи, пройдені м'ячем до стінки і від стінки, відрізняються на відстань, яку пройшов м'яч до першої зустрічі зі стінкою, тобто 24 м. Загальна відстань, пройдена м'ячем до стінки, u_1t_1, від стінки u_2t_2. Можемо записати $8t_1-4t_2=24$ (2). Розв'яжемо систему рівнянь (1) і (2):

$8t_1-4(12-t_1)=24$.

$t_1=6$ с. $t_2=6$ с.

8 клас

Задача 1. Нехай l, m_1, m_2 – довжина шприца (яка чисельно дорівнює довжині циліндра та довжині поршня), маса циліндра та маса поршня відповідно. Запишемо умову рівноваги шприца у проєкціях відносно осі, яка проходить через центр мас невідомої рідини і є перпендикулярною до площини рисунка: $\frac{4}{3}l \cdot F_1 - \frac{5}{6}l \cdot m_2 g - \frac{1}{6}l \cdot m_1 g - \frac{l}{3}F_2 = 0$ (1); $\frac{4}{3} \cdot F_1 - \frac{l}{3}F_2 = \frac{5}{6} \cdot m_2 g + \frac{1}{6} \cdot m_1 g$; $8 \cdot F_1 - 2F_2 = 5\,m_2 g + m_1 g$ (2). Очевидно, що $M = m_1 + m_2$ (3). $m_1 = M - m_2$ (4). Підставимо (4) в (2): $8 \cdot F_1 - 2F_2 = 5\,m_2 g + Mg - m_2 g$;

$8 \cdot F_1 - 2F_2 = 4\,m_2 g + Mg$; $m_2 = \frac{8 \cdot F_1 - 2F_2 - Mg}{4g}$; $m_2 = \frac{8 \cdot 60 \cdot 10^{-3}\,\text{Н} - 2 \cdot 90 \cdot 10^{-3}\,\text{Н} - 10 \cdot 10^{-3}\,\text{кг} \cdot 10\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{4 \cdot 10\,\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 5 \cdot 10^{-3}\,\text{кг}.$

Отже, $m_1 = 10 \cdot 10^{-3}\,\text{кг} - 5 \cdot 10^{-3}\,\text{кг} = 5 \cdot 10^{-3}\,\text{кг}$.

Задача 2. Шматок льоду почне тонути у воді, коли його середня густина буде дорівнювати густині води: $\rho_c = \frac{M + m}{V + V_2} = \rho_0$ (1), де M та V – маса та об'єм льоду відповідно у другому стані. Врахувавши, що $V = \frac{M}{\rho_1}$ і $V_2 = \frac{m}{\rho_2}$, рівняння (1) набере вигляду: $M + m = \rho_0 \frac{M}{\rho_1} + \rho_0 \frac{m}{\rho_2}$; $M - \rho_0 \frac{M}{\rho_1} = \rho_0 \frac{m}{\rho_2} - m$;

$M\,(1 - \frac{\rho_0}{\rho_1}) = m\,(\frac{\rho_0}{\rho_2} - 1)$; $M = \frac{m\,(\frac{\rho_0}{\rho_2} - 1)}{(1 - \frac{\rho_0}{\rho_1})}$ (2). Маса льоду, що розтане: $\Delta M = M_0 - M$ (3). Кількість теплоти, яка необхідна для цього, становитиме: $Q = \lambda \cdot \Delta M$ (4).

Підставимо (2) і (3) в (4): $\text{Q} = \lambda(M_0 - \frac{m\,(\frac{\rho_0}{\rho_2} - 1)}{(1 - \frac{\rho_0}{\rho_1})})$; Q ≈ 42,5кДж.

Задача 3. З таблиці видно, що від 5 см до 7 см покази динамометра не змінюються. Це означає, що кубик був у повітрі. При цій умові: $F_{\text{тяж}} = 6{,}4$ Н.

Від 7 см до 11 см покази динамометра змінюються, бо на кубик діє виштовхувальна сила з боку першої рідини, числове значення якої буде змінюватися зі зміною глибини занурення кубика. Коли кубик занурився повністю в першу рідину, покази динамометра не змінюються. Отже, висота кубика a = 11 см – 7 см = 4 см. (Аналогічно можна побачити, що при зануренні в другу рідину покази змінюються від 22 см до 26 см, теж 4 см). Тоді об'єм кубика $V = a^3 = 4^3 = 64\,(\text{см}^3)$.

Нижня грань кубика почне занурюватися в першу рідину при h = 7 см, а в другу рідину при h = 22 см. Отже, висота першої рідини h_1 = 15 см, а другої h_2 = 57 см – 7 см – 15 см = 35 см.

Оскільки в першій рідині динамометр показує F_1 = 5,76 Н, то це означає, що в ній на кубик діє виштовхувальна сила $F_A = F_{\text{тяж}} - F_1$ = 6,4 Н – 5,76 Н = 0,64 Н. Тоді густина першої рідини: $\rho_1 = \frac{F_A}{gV} = \frac{0{,}64}{10 \cdot 64 \cdot 10^{-6}} = 1000$ (кг/м^3).

Аналогічно в другій рідині динамометр показує F_2 = 5,44 Н, це означає, що в ній на кубик діє виштовхувальна сила $F_A = F_{\text{тяж}} - F_2$ = 6,4 Н – 5,44 Н = 0,96 Н. Тоді густина другої рідини: $\rho_2 = \frac{F_A}{gV} = \frac{0{,}96}{10 \cdot 64 \cdot 10^{-6}} = 1500$ (кг/м^3).

Задача 4. ***(Див. розв. задачі 4, 7 клас).***

Задача 5. Унаслідок двох переливань маса води в першій посудині залишилась однаковою, а її температура зменшилась на $\Delta t_1 = 1\ ^\circ$C. Отже, енергія води зменшилась на $\Delta Q = m_1 c \Delta t_1$.

Тоді на цю ж величину збільшилась енергія води в другій посудині. Маса води в цій посудині теж не змінилась. $\Delta Q = m_2 c \Delta t_2$.

Звідси $\Delta t_2 = \frac{m_1}{m_2}\Delta t_1 = 5\ ^\circ\text{C}$ (на стільки збільшилася температура води в другій посудині). Отже, температура води в другій посудині після переливання води стала $t' = t_2 + \Delta t_2 = 25\ ^\circ\text{C}$. Рівняння теплового балансу після першого переливання: $m_2 c(t' - t_2) = mc(t_1 - t')$ або $m_2(t' - t_2) = m(t_1 - t')$.

Звідси $m = \dfrac{m_2(t' - t_2)}{t_1 - t'} = \dfrac{1\cdot(25-20)}{60-25} = \dfrac{1}{7}$ (кг).

Задача 6. Проаналізуємо графік (рис. 6). Поки кубик у воді, динамометр показує різницю між силою тяжіння і виштовхувальною силою. Перша горизонтальна ділянка означає, що ця сила не змінюється і кубик повністю занурений у рідину. $F_1 = F_т - F_А = 3{,}93$ Н. Збільшення сили означає, що кубик почали піднімати з рідини, і друга горизонтальна ділянка означає, що весь кубик уже в повітрі й на нього діє лише сила тяжіння $F_т = 8{,}74$ Н. Тоді маса кубика $m = \dfrac{F_т}{g} = 0{,}874$ кг $= 874$ г. Архімедова сила $F_А = F_т - F_1 = 8{,}74 - 3{,}93 = 4{,}81$ Н.

При піднятті кубика з рідини сила змінюється рівномірно. Використовуючи подібні трикутники, знаходимо довжину ребра кубика. $\dfrac{a}{2} = \dfrac{8{,}74-3{,}93}{5{,}23-3{,}93} = \dfrac{4{,}81}{1{,}3} - 3{,}7$. Отже, $a = 7{,}4$ см. Тоді об'єм кубика: $V = a^3 = 405{,}224$ см^3.

Густина кубика: $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{m}{a^3} = \dfrac{874}{405{,}224} \approx 2{,}16\left(\dfrac{г}{см^3}\right)$.

Із закону Архімеда густина рідини $\rho_р = \dfrac{F_А}{gV} = \dfrac{4{,}81}{10\cdot 405{,}224\cdot 10^{-6}} \approx 1187\left(\dfrac{кг}{м^3}\right) = 1{,}187\,\dfrac{г}{см^3}$.

9 клас

Задача 1. ***(Див. розв. задачі 1, 8 клас).***

Задача 2. ***(Див. розв. задачі 2, 8 клас).***

Задача 3. Оскільки дротина нагрівається до певної максимальної температури, то електрична потужність дорівнює кількості теплоти, яку віддає дротина в навколишнє середовище за одиницю часу при найвищій температурі. Одержимо:

Дано:
$I_1 = 1{,}4$ А
$t_1 = 55\ ^\circ$C
$I_2 = 2{,}8$ А
$t_2 = 160\ ^\circ$C
$I_3 = 5{,}6$ А
$t_3 - ?$

$I_1^2 R = A(t_1 - t_0)$ (1); $I_2^2 R = A(t_2 - t_0)$ (2); $I_3^2 R = A(t_3 - t_0)$ (3).

Поділимо (2) та (3) рівняння на (1): $\dfrac{I_2^2}{I_1^2} = \dfrac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0}$ (4) $\dfrac{I_3^2}{I_1^2} = \dfrac{t_3 - t_0}{t_1 - t_0}$ (5).

З рівняння (4) знаходимо температуру навколишнього середовища t_0: $\dfrac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} = 4$,

$t_2 - t_0 = 4t_1 - 4t_0$, $t_0 = \dfrac{4t_1 - t_2}{3}$, $t_0 = \dfrac{4\cdot 55 - 160}{3} = 20$ ($^\circ$C).

Тоді з рівняння (5) знайдемо шукану температуру t_3: $\dfrac{t_3 - t_0}{t_1 - t_0} = 16$;

$t_3 = t_0 + 16\cdot(t_1 - t_0)$. $t_3 = 20 + 16\cdot(55-20) = 580$ ($^\circ$C).

Відповідь: 580 $^\circ$С.

Задача 4. Одне зображення (вважаємо його першим) розміщено на тій самій стороні, що й предмет (рис. 8). Відповідно воно є уявним. Друге джерело світла і його зображення розміщені по різні боки лінзи. Це зображення є дійсним. Запишемо формулу тонкої лінзи для обох випадків: $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d_1} - \dfrac{1}{f_1}$ (1), $\dfrac{1}{F} = \dfrac{1}{d_2} + \dfrac{1}{f_2}$ (2), де d_1 та d_2 – відстані від відповідних джерел світла до лінзи. За умовою задачі $d_1 + d_2 = l$ (3), $f_1 = f_2$. Додамо почленно рівняння (1) та (2): $\dfrac{2}{F} = \dfrac{1}{d_1} + \dfrac{1}{d_2}$, $\dfrac{2}{F} = \dfrac{d_1 + d_2}{d_1 d_2}$, $\dfrac{2}{F} = \dfrac{l}{d_1 d_2}$.

Дано:
$l = 2$ м
$F = 64$ см
$d_1 - ?$
$d_2 - ?$

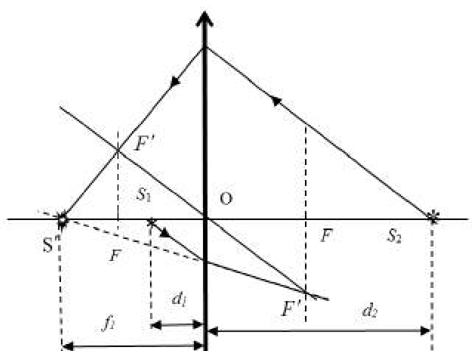


Рисунок 8

Із (3) знаходимо: $d_2 = l - d_1$. Тоді $2d_1 d_2 = lF$, $d_1^2 - ld_1 + \dfrac{lF}{2} = 0$.

Підставимо у квадратне рівняння числові значення величин у СІ:

$d_1^2 - 2d_1 + \dfrac{2\cdot 0{,}64}{2} = 0$, $d_1^2 - 2d_1 + 0{,}64 = 0$. $d_1 = 1 \pm \sqrt{1-0{,}64} = 1 \pm \sqrt{0{,}36} = 1 \pm 0{,}6$. $d_1' = 1 - 0{,}6 = 0{,}4$ (м), $d_1'' = 1 + 0{,}6 = 1{,}6$ (м).

Отже, лінзу потрібно розмістити на відстані 40 см від першого джерела і на відстані 160 см – від другого або навпаки.

Задача 5. ***(Див. розв. задачі 5, 8 клас).***

Задача 6. ***(Див. розв. задачі 6, 8 клас).***

10 клас

Задача 1. Нехай t_1 – час падіння першої краплі, t_2 – час падіння другої, t_3 – час падіння третьої краплі.

Дано:
$t_1 - t_2 = t_2 - t_3$
$h_2 = \frac{h_1}{2}$

$\frac{h_3}{h_1} - ?$, $n - ?$

$h_1 = \frac{gt_1^2}{2}$, $h_2 = \frac{gt_2^2}{2} = \frac{h_1}{2}$. $gt_2^2 = h_1$, $gt_2^2 = \frac{gt_1^2}{2}$, $t_2 = \frac{t_1}{\sqrt{2}}\,(1)$.

Зі співвідношення $t_1 - t_2 = t_2 - t_3$ знаходимо: $t_3 = 2t_2 - t_1$. Враховуючи (1), маємо: $t_3 = 2\frac{t_1}{\sqrt{2}} - t_1 = t_1\left(\sqrt{2}-1\right)$. Тоді $h_3 = \frac{gt_3^2}{2} = \frac{gt_1^2\left(\sqrt{2}-1\right)^2}{2} = h_1\left(\sqrt{2}-1\right)^2$.

Виконаємо обчислення: $h_3 = h_1\left(\sqrt{2}-1\right)^2 \approx 0{,}17h_1$. Порівняємо час падіння першої краплі t_1 та інтервал часу між відривами краплин: $t_1 - t_2$. $t_1 - t_2 = t_1 - \frac{t_1}{\sqrt{2}} = t_1\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}}$.

$n = \frac{t_1}{t_1 - t_2} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}-1} = \frac{1{,}4142}{0{,}4142} = 3{,}4.$

Отже, крім першої краплини буде ще три краплини у польоті.

Задача 2. Максимальна швидкість кульок і їхня вага буде у момент проходження ними положення рівноваги. Для визначення швидкості верхньої кульки використаємо закон збереження механічної енергії системи куль. Швидкість нижньої кульки у два рази більша за швидкість верхньої. Вибираємо положення рівноваги нижньої кульки за нульове для обчислення потенціальної енергії (рис. 9). Тоді: $2mgl = mg\frac{l}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{m(2\upsilon)^2}{2}$. Звідси: $\upsilon^2 = \frac{3gl}{5}$. $\upsilon = \sqrt{\frac{3gl}{5}}$.

Дано:
l
m

$\upsilon_{1\max} - ?$
$P_{1\max} - ?$
$P_{2\max} - ?$

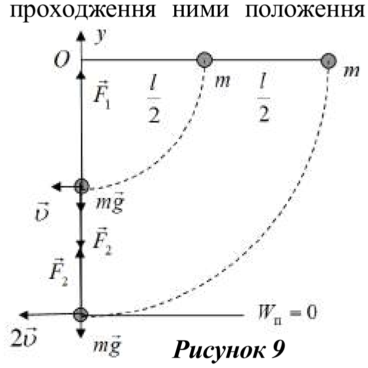


Рисунок 9

Запишемо другий закон Ньютона для кожної кульки у момент проходження положення рівноваги: $F_2 - mg = \frac{m(2\upsilon)^2}{l}$ (1), $F_1 - F_2 - mg = \frac{2m(\upsilon)^2}{l}$ (2).

З рівняння (1) $F_2 = mg + \frac{m(2\upsilon)^2}{l} = \frac{17mg}{5}$, $F_1 = F_2 + mg + \frac{2m(\upsilon)^2}{l} = \frac{17mg}{5} + mg + \frac{6mg}{5} = \frac{28mg}{5}$.

Вага нижньої кульки $P_2 = F_2 = \frac{17mg}{5}$, верхньої $P_1 = F_1 - F_2 = \frac{28mg}{5} - \frac{17mg}{5} = \frac{11mg}{5}$.

Задача 3. ***(Див. розв. задачі 3, 9 клас).***

Задача 4. ***(Див. розв. задачі 4, 9 клас).***

Задача 5. Санки з гірки з'їжджають із прискоренням a і проходять шлях S. Для рівноприскореного руху санок на гірці: $\upsilon^2 = 2aS$. Тоді $\upsilon = \sqrt{2aS}$. Для визначення швидкості потрібно знати прискорення руху санок вниз із гірки та пройдений шлях на ній.

Дано:
$m = 5$ кг
$A = 480$ Дж
$\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}2$
$\mu = 0{,}1$

$\upsilon - ?$

Розглянемо прискорений рух санок вниз. Позначимо усі сили, які діють на санки, і запишемо другий закон Ньютона: $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}$.

Спроєктуємо рівняння руху на координатні осі: 0y: $N - mg\cos\alpha = 0$ та 0x: $mg\sin\alpha - F_{тр} = ma$ (рис. 10).

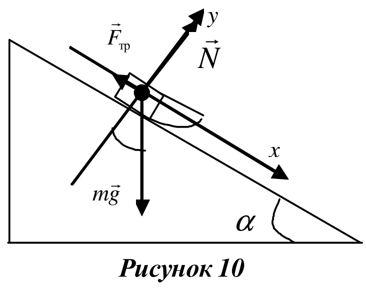


Рисунок 10

Враховуючи, що $F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$, маємо: $mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha = ma$ (1). Звідси: $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$.

Робота, яку виконав хлопчик, витягуючи санки: $A=\left(\vec{F}\cdot\vec{S}\right)=F\cdot S$. Для визначення S знайдемо силу $\vec{F}$. Зобразимо на рис. 11 всі сили, які діють на санки при русі на гірку: сила тяжіння: $m\vec{g}$, сила тертя $\vec{F}_{тр}$, сила, з якою хлопчик тягне санки, $\vec{F}$, сила реакції опори $\vec{N}$. Запишемо закон рівномірного руху санок:

$m\vec{g}+\vec{F}_{тр}+\vec{N}+\vec{F}=0$ (2).

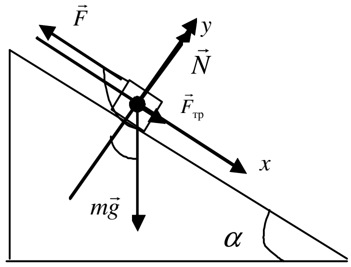


Рисунок 11

Спроєктуємо рівняння руху на вибрані координатні осі: $0x: mg\sin\alpha+F_{тр}-F=0$ (3).

$0y: N-mg\cos\alpha=0$; $N=mg\cos\alpha$.

Сила тертя $F_{тр}=\mu N=\mu mg\cos\alpha$. Підставляємо силу тертя у рівняння (3) і знаходимо силу $\vec{F}$: $F=mg\sin\alpha+\mu mg\cos\alpha=mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)$. Отже, $S=\dfrac{A}{F}=\dfrac{A}{mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)}$. Тоді $\upsilon=\sqrt{2g(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)\dfrac{A}{mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)}}=\sqrt{\dfrac{2A}{m}\cdot\dfrac{\mathrm{tg}\alpha-\mu}{\mathrm{tg}\alpha+\mu}}$.

Виконаємо обчислення в СІ: $\upsilon=\sqrt{\dfrac{2\cdot480}{5}\cdot\dfrac{0{,}2-0{,}1}{0{,}2+0{,}1}}=\sqrt{64}=8\left(\dfrac{\text{м}}{\text{с}}\right)$.

Задача 6. У початковий момент часу зміщення тіла дорівнює нулю, тому рівняння гармонічних коливань: $x=A\sin\omega t$ (1).

Дано:
$t=\dfrac{T}{6}$

$\dfrac{W_к}{W_п}-?$

Циклічна частота $\omega=\sqrt{\dfrac{k}{m}}$, $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$. Потенціальна енергія маятника: $W_п=\dfrac{kx^2}{2}=\dfrac{kA^2}{2}\sin^2\omega t$ (2).

Миттєве значення швидкості тіла $\upsilon=\dfrac{dx}{dt}=A\omega\cos\omega t$ (3).

Кінетична енергія тіла: $W_к=\dfrac{m\upsilon^2}{2}=\dfrac{mA^2}{2}\omega^2\cos^2\omega t=\dfrac{mA^2}{2}\dfrac{k}{m}\cos^2\omega t=\dfrac{kA^2}{2}\cos^2\omega t$ (4).

Будуємо графіки залежностей (2) і (4) (рис. 12).

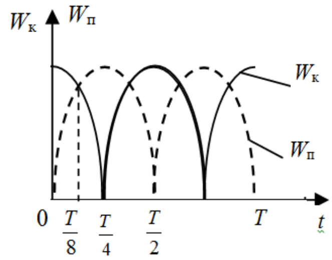


Рисунок 12

Прирівняємо співвідношення (2) та (4): $\dfrac{kA^2}{2}\sin^2\omega t=\dfrac{kA^2}{2}\cos^2\omega t$,

$\sin^2\omega t=\cos^2\omega t$, $|\sin\omega t|=|\cos\omega t|$, $|\mathrm{tg}\omega t|=1$, $\mathrm{tg}\dfrac{2\pi}{T}t_1=1$, $\dfrac{2\pi}{T}t_1=\dfrac{\pi}{4}$, $t_1=\dfrac{T}{8}$,

$\dfrac{2\pi}{T}t_2=\pi-\dfrac{\pi}{4}=\dfrac{3\pi}{4}$, $t_2=\dfrac{3T}{8}$, $\dfrac{2\pi}{T}t_3=\pi+\dfrac{\pi}{4}=\dfrac{5\pi}{4}$, $t_3=\dfrac{5T}{8}$, $\dfrac{2\pi}{T}t_4=2\pi-\dfrac{\pi}{4}=\dfrac{7\pi}{4}$, $t_4=\dfrac{7T}{8}$.

Знаходимо відношення енергій: $\dfrac{W_п}{W_к}=\dfrac{\sin^2\omega t}{\cos^2\omega t}=\mathrm{tg}^2\omega t=\mathrm{tg}^2\dfrac{2\pi}{T}\dfrac{T}{6}=\mathrm{tg}^2\dfrac{\pi}{3}=\left(\sqrt{3}\right)^2=3$.

11 клас

Задача 1. ***(Див. розв. задачі 1, 10 клас).***

Задача 2. Стан газу описує рівняння Клапейрона: $\dfrac{pV}{T}=\alpha$ (1). За умовою задачі $pV^{\frac{3}{2}}=\beta$. Звідси:

Дано:
$t_1=113\ ^\circ\text{C}$
$pV^{\frac{3}{2}}=const$
$V_2=2V_1$

$t_2-?$

$p=\beta V^{-\frac{3}{2}}$. Підставляємо в рівняння (1): $\dfrac{\beta V^{-\frac{3}{2}}\cdot V}{T}=\alpha$. Звідси: $TV^{\frac{1}{2}}=\dfrac{\beta}{\alpha}$ або $T\sqrt{V}=\gamma$.

Розглядаємо два стани газу: $T_1\sqrt{V_1}=T_2\sqrt{V_2}$. Звідси: $T_2=T_1\sqrt{\dfrac{V_1}{V_2}}$. Виконаємо обчислення в СІ: $T_2=386\sqrt{\dfrac{1}{2}}\approx273\,(\text{К})$. $t_2=0\ ^\circ\text{C}$.

Задача 3. ***(Див. розв. задачі 3, 9 клас).***
Задача 4. ***(Див. розв. задачі 4, 9 клас).***

Задача 5. У початковий момент часу конденсатор незаряджений, тому гармонічні коливання заряду: $q = q_{\max} \sin \omega t$ (1). Циклічна частота: $\omega = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$. Енергія електричного поля конденсатора:

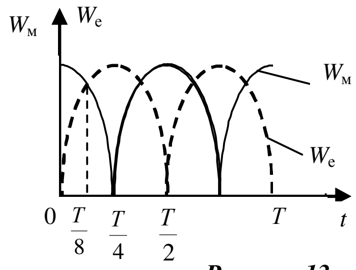


Рисунок 13

$$W_е = \frac{q^2}{2C} = \frac{q_{\max}^2}{2C} \sin^2 \omega t = \frac{CU_{\max}^2}{2} \sin^2 \omega t = \frac{CU_{\max}^2}{2} \sin^2 \frac{1}{\sqrt{CL}} t \ (2).$$

Сила струму в котушці: $I = \dfrac{dq}{dt} = q_{\max} \omega \cos \omega t$ (3). Енергія магнітного поля котушки:

$$W_м = \frac{LI^2}{2} = \frac{Lq_{\max}^2}{2} \omega^2 \cos^2 \omega t = \frac{LC^2 U_{\max}^2}{2} \frac{1}{LC} \cos^2 \omega t = \frac{CU_{\max}^2}{2} \cos^2 \frac{1}{\sqrt{CL}} t \ (4).$$

Будуємо графіки залежностей (2) і (4).

Прирівняємо співвідношення (2) та (4): $\dfrac{CU_{\max}^2}{2} \sin^2 \omega t = \dfrac{CU_{\max}^2}{2} \cos^2 \omega t$, $\sin^2 \omega t = \cos^2 \omega t$, $|\sin \omega t| = |\cos \omega t|$,

$|\mathrm{tg}\, \omega t| = 1$, $\mathrm{tg} \dfrac{2\pi}{T} t_1 = 1$, $\dfrac{2\pi}{T} t_1 = \dfrac{\pi}{4}$, $t_1 = \dfrac{T}{8}$, $\dfrac{2\pi}{T} t_2 = \pi - \dfrac{\pi}{4} = \dfrac{3\pi}{4}$, $t_2 = \dfrac{3T}{8}$, $\dfrac{2\pi}{T} t_3 = \pi + \dfrac{\pi}{4} = \dfrac{5\pi}{4}$, $t_3 = \dfrac{5T}{8}$

$\dfrac{2\pi}{T} t_4 = 2\pi - \dfrac{\pi}{4} = \dfrac{7\pi}{4}$, $t_4 = \dfrac{7T}{8}$.

Знаходимо відношення енергій: $\dfrac{W_е}{W_м} = \dfrac{\sin^2 \omega t}{\cos^2 \omega t} = \mathrm{tg}^2 \omega t = \mathrm{tg}^2 \dfrac{2\pi}{T} \dfrac{T}{6} = \mathrm{tg}^2 \dfrac{\pi}{3} = \left(\sqrt{3}\right)^2 = 3.$

Задача 6. Зобразимо на рис. 14 всі сили, які діють на перетинку при русі: сила тяжіння: $m\vec{g}$, сила тертя $\vec{F}_{тр}$, сила Ампера $\vec{F}_A$, сила реакції опори $\vec{N}$.

Дано:
$\alpha = 45^\circ$
$l = 20$ см $= 0{,}2$ м
$m = 50$ г $= 5 \cdot 10^{-2}$ кг
$B = 0{,}5$ Тл
$\mu = 0{,}2$

$I - ?$

Запишемо закон рівномірного руху перетинки: $m\vec{g} + \vec{F}_{тр} + \vec{N} + \vec{F}_A = 0$ (1).

Напрям сили Ампера визначаємо за правилом лівої руки. Сила Ампера напрямлена горизонтально. Спроєктуємо рівняння руху на вибрані координатні осі: Ox: $F_A \cos \alpha - F_{тр} - mg \sin \alpha = 0$ (2);

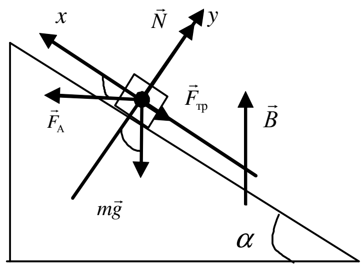


Рисунок 14

Oy: $N - mg \cos \alpha - F_A \sin \alpha = 0$; $N = mg \cos \alpha + F_A \sin \alpha$.

Сила тертя $F_{тр} = \mu N = \mu (mg \cos \alpha + F_A \sin \alpha)$. Сила Ампера $F_A = BIl$.

Підставляємо силу тертя у рівняння (2): $F_A \cos \alpha - \mu mg \cos \alpha - \mu F_A \sin \alpha - mg \sin \alpha = 0$.

Знаходимо силу Ампера: $F_A = \dfrac{mg\,(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} = \dfrac{mg\,(\mu + \mathrm{tg}\, \alpha)}{1 - \mu \mathrm{tg}\, \alpha}$. Тоді шукана сила струму $I = \dfrac{mg\,(\mu + \mathrm{tg}\, \alpha)}{Bl\,(1 - \mu \mathrm{tg}\, \alpha)}$. Виконаємо обчислення в СІ: $I = \dfrac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 10\,(0{,}2 + 1)}{0{,}5 \cdot 0{,}2\,(1 - 0{,}2)} = \dfrac{1{,}2}{0{,}16} = 7{,}5\ (\mathrm{А})$.

Струм у провіднику тече перпендикулярно до площини рисунка до нас.

Використані джерела

1. Алексейчук В., Гальчинський О., Шопа Г. Обласні олімпіади з фізики. Задачі та розв'язки. Львів : Євросвіт, 2004. 184 с. : іл.
2. Гончаренко С. У., Коршак Є. В. Фізика. Олімпіадні задачі. Вип. 2. 9–11 класи. Тернопіль : Навч. кн. – Богдан, 1999. 200 с.
3. Кобель Г. П., Савош В. О. Олімпіадні задачі з фізики (районна та обласна учнівська олімпіада з фізики: Волинська область, 2013/2014 навч. рік). Луцьк : LUCKY, 2016. 60 с.
4. Їх же. Олімпіадні задачі з фізики (обласна учнівська олімпіада з фізики: Волинська область, 2015–2019 навч. роки). Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 96 с.
5. Їх же. Практикум розв'язування олімпіадних задач з фізики. Луцьк : Вежа-Друк, 2023. 112 с.